

**Contribution à l'étude
de la radioactivité naturelle
du lait**

Teneurs en Radium 226

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 20 Juin 1964

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Michel DE DREUILLE

Né le 24 Janvier 1938, à RULLY (Saône-et-Loire)



LYON

Imprimerie BOSC Frères
42, quai Gailleton, 42

1964

CONTRIBUTION
A L'ETUDE DE LA RADIOACTIVITE NATURELLE
DU LAIT

TENEURS EN RADIUM 226

**Contribution à l'étude
de la radioactivité naturelle
du lait**

Teneurs en Radium 226

THÈSE

PRÉSENTÉE

A LA FACULTÉ DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE DE LYON

et soutenue publiquement le 20 Juin 1964

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR VÉTÉRINAIRE

PAR

Michel DE DREUILLE

Né le 24 Janvier 1938, à RULLY (Saône-et-Loire)



LYON

Imprimerie BOSC Frères
42, quai Gailleton, 42

1964

PERSONNEL ENSEIGNANT DE L'ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE DE LYON

Directeur	M. FLORIO
Directeur honoraire	M. JUNG
Directeur honoraire	M. TAPERNOUX
Professeur honoraire	M. CUNY

PROFESSEURS

14 chaires

Pharmacie et Toxicologie	MM. TAPERNOUX
Anatomie descriptive, Extérieur, Anatomie appliquée	BARONE
Physiologie, Thérapeutique, Pharmacodynamie	BOST
Histologie, Embryologie, Anatomie pathologique	LUCAM
Hygiène et industrie des aliments d'origine animale	FLACHAT
Zoologie appliquée, Parasitologie externe, Parasitologie interne .	EUZEBY
Pathologie médicale des équidés et des carnivores. Législation vétérinaire	FLORIO
Pathologie médicale du bétail et des animaux de basse-cour	COTTEREAU
Technique chirurgicale, Pathologie chirurgicale	COLLET
Obstétrique, Pathologie de la Reproduction	BERTRAND
Microbiologie, Immunologie, Maladies contagieuses, Police sani- taire	JOUBERT
Ethnologie, Hygiène, Zootechnie, Economie rurale	FROGET
Botanique appliquée, Agronomie, Alimentation	JEAN-BLAIN
Physique et Chimie biologiques et médicales	MAGAT

CHEFS DE TRAVAUX

MM. FERNEY, RUCKEBUSCH, Agrégés.
MM. BUSSIERAS, LAPRAS, LE NIHOUE, OUDAR, VAN HAVERBEKE,
JEAN-BLAIN Claude, CHANTEGRELET.

ASSISTANTS

MM. BLAVIGNAC, PROY, VERINE

EXAMINATEURS DE LA THÈSE

Président : Monsieur le Professeur CHAMBON, de la Faculté de Médecine.
Premier Assesseur : Monsieur le Professeur FLACHAT, de l'Ecole Vétérinaire.
Deuxième Assesseur : Monsieur le Professeur MAGAT, de l'Ecole Vétérinaire.

La Faculté de Médecine et l'Ecole Vétérinaire déclarent que les opinions émises dans les dissertations qui leur sont présentées doivent être considérées comme propres à leurs auteurs et qu'elles n'entendent leur donner ni approbation, ni improbation.

A MES PARENTS

En remerciement des sacrifices qu'ils se
sont imposés pour leur fils.



A MA FIANCEE

A qui je dois tant.

A MES SŒURS, FRERES ET BEAUX-FRERES

A TOUS MES AMIS

A Monsieur le Professeur CHAMBON

Qui nous a fait l'honneur d'accepter la
Présidence de notre Jury de Thèse.

Hommages respectueux.

A Monsieur le Professeur FLACHAT

Avec toute notre admiration pour l'enseignement d'un Maître compétent et estimé.

A Monsieur le Professeur MAGAT

Qui nous a fait l'honneur de bien vouloir s'intéresser à ce travail.

INTRODUCTION

« La science a marqué de sa solide empreinte l'industrie laitière dans ces quarante dernières années ; mais elle n'a pas tout dit, et il serait puéril de laisser supposer un seul instant que ce qui reste à faire n'est rien à côté de ce qui a été fait. D'une telle réflexion, seuls les esprits simples se contentent et, semblables à l'autruche qui se cache pour ne rien voir, ils s'abritent derrière une petite science pour croire que tout a été dit. »

Quarante-trois ans après cette déclaration de Porcher (1), l'étude du lait est toujours d'actualité, reflétant les données nouvelles de la science. En effet, à la suite d'études biologiques très approfondies de certains germes, des normes très strictes de salubrité furent édictées afin d'éviter à cet aliment le triste privilège de servir de vecteur de certaines maladies infectieuses telles que la tuberculose. A la lumière des données acquises en domaine nucléaire, dont le développement fut considérable ces dernières années, il est d'impératif actuel de préciser la quantité de radioéléments, préjudiciables à la santé du consommateur, contenus dans le lait en certains lieux de production et à certaines époques.

Par les retombées radioactives, composées surtout de radioéléments artificiels, les plantes, le sol, l'eau sont souillés ; ces corps, métabolisés par la flore et la faune, réapparaissent dans le lait. Des mesures périodiques sont effectuées afin de déterminer l'importance de cette contamination ; on doit signaler à ce sujet les travaux de Jeanmaire et Michon sur la teneur en strontium et césium dans le lait (2) (3), de Audren (4) à propos de l'iode 131.

Les produits de l'alimentation humaine renferment aussi des radioéléments naturels issus du sol et métabolisés de la

même manière. Ces radioéléments étant présents en quantité très variable dans le sous-sol, il est logique d'espérer rencontrer des variations de tel ou tel radioélément naturel dans un produit biologique, en fonction du lieu de production. La connaissance de cette contamination naturelle servira de base à l'évaluation des risques présentés par les retombées lors d'explosion d'engins nucléaires, et du danger qu'encourt le personnel des centres d'étude et de production d'énergie atomique du fait de la proximité de matériaux radioactifs.

C'est d'ailleurs sur ce point qu'insiste le Rapport du Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Etude des Effets Radioactifs des Radiations Ionisantes (5) : « En ce qui concerne l'irradiation reçue au cours de l'exposition professionnelle, la définition de la dose maximale admissible repose sur la notion d'un moyen terme entre les exigences pratiques du travail en question et le souci de limiter les dangers courus... Ces variations sont sujettes à des variations géographiques suffisamment bien connues pour permettre d'établir une moyenne mondiale approximative. Il est toutefois souhaitable que l'on poursuive l'étude des sources naturelles comme bases de comparaison pour les autres sources. » Il est dit dans ce même rapport : « L'appréciation due aux sources naturelles présente une importance considérable, spécialement en raison du fait qu'une partie des effets héréditaires et peut-être certaines affections malignes normalement observées peuvent être la conséquence d'irradiations naturelles. »

Aussi bien sur le plan scientifique que sur le plan sanitaire, le Vétérinaire a un rôle important à jouer dans ce domaine. De même que par l'inspection des viandes, qui lui est confiée, il est responsable de la salubrité des carcasses livrées à la consommation, en matière de production laitière il doit connaître les qualités physiques, chimiques et biologiques de cet aliment de première nécessité qui sert de base à l'édification du squelette du jeune : de un à quatre ans le poids du squelette augmente de vingt pour cent. La profession vétérinaire a été alertée (6) le 30 janvier 1959 par une circulaire adressée par M. le Ministre de l'Agriculture à

MM. les Préfets (Direction des Services Vétérinaires), dans son paragraphe III, au sujet de « la radiocontamination résultant du voisinage de centres atomiques (Gard, Indre-et-Loire), de mines ou de purification de l'uranium (Haute-Vienne), d'usines utilisant des matériaux radioactifs ». Il paraissait intéressant de renseigner les responsables sur la présence du Radium 226 dans le lait. Seront exposées successivement les techniques de dosage et les valeurs rencontrées en différents points géographiques du territoire français à structure géologique bien définie.

CHAPITRE PREMIER

GENERALITES SUR LE RADIUM

1. Découverte, définition du curie

Ce corps fut découvert le 26 décembre 1898 par Pierre et Marie Curie (7) dans la pechblende de Saint-Joachimstael. En examinant un spectre de baryum auquel il se trouvait lié, Demarçay remarqua une raie de longueur d'onde = 3.815 Angotrom, qui ne correspondait alors à aucun élément connu. Au cours du fractionnement, l'intensité de cette raie augmentait parallèlement à la radioactivité.

Madame Curie obtint du chlorure de radium avant de réussir à l'isoler à l'état métallique avec A. Debierne.

Le Curie, unité de mesure, n'est plus une quantité de radioélément comme le définissait Madame Curie (8), mais une unité d'activité. L'ancienne définition était : « On appelle Curie d'un radioélément la quantité qui émet par seconde le même nombre de rayons qu'un gramme de radium, soit $3,7 \cdot 10^{10}$ rayons par seconde. »

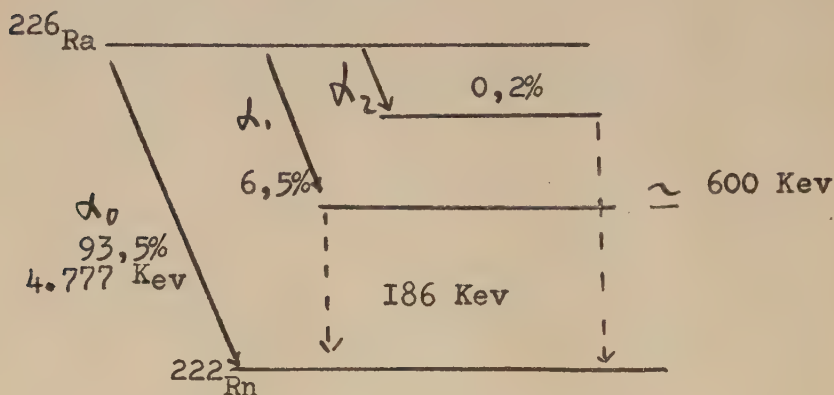
Le Curie est donc une activité de $3,7 \cdot 10^{10}$ désintégrations par seconde.

2. Le radium

Par filiation radioactive, il descend de l'uranium selon le schéma (10) :



Le Radium 226 se désintègre en donnant naissance au radon de masse 222, avec émission de rayons α suivant le schéma ci-dessous (11) :



Ces deux schémas s'inscrivent dans le schéma général de la famille radioactive ($4n + 2$) de l'Uranium-Radium. A cette famille correspondent les deux autres séries homologues de radioéléments naturels (12) : celle de l'Uranium-Actinium ($4n + 3$) et celle du Thorium ($4n$).

Dans ces trois familles, l'élément final de la transformation radioactive est constitué par un isotope stable du plomb :

L'Uranoplomb, $^{206}_{82} \text{Pb}$,

L'Actinoplomb, $^{207}_{82} \text{Pb}$,

Le Thoronplomb $^{208}_{82} \text{Pb}$.

En tête de chaque famille existe chaque fois un élément de très longue période : U.I. ou 238

U.I.I. ou 235

Th.

Chaque famille possède un gaz radioactif appelé émanation. Ce sont :

Le Radon,
L'Actinon,
Le Thoron.

De plus, dans chaque série existe un isotope de très courte période, à savoir :

Radium C'
Actinium C'
Thorium C'.

On remarque enfin chaque fois la présence d'un dépôt actif à vie courte provenant de l'émanation. En outre, à côté du dépôt actif à vie courte de la série $(4n + 2)$ existe un dépôt actif à vie longue allant du radium D au radium G ou plomb.

Le radium a pour numéro atomique $Z = 88$. Le nombre de masse de ces nuclides de $Z = 88$, qui sont tous radioactifs, est compris entre 213 et 230. Leur désintégration, définie par des périodes allant de 10^{-3} sec. à 1.622 ans, se fait avec émission de rayons de type α et β . Rayons α pour $M = 226$, $213 \leq M \leq 224$; rayonnement β pour $M = 225$, et $227 \leq M \leq 230$. Dans chaque série radioactive naturelle existe au moins un élément de $Z = 88$ (13) :

^{224}Ra (Th x) Période 3,64 jours,
 ^{226}Ra (Ra) Période 1.622 ans,
 ^{223}Ra (Ac x) Période 11,2 jours.

La famille du Thorium contient de plus un deuxième isotope le ^{228}Ra (Mesothorium en abrégé MsTh I) qui est émetteur β : sa période est de 6,7 ans ; ses rayons sont de faible énergie.

Enfin la famille du Neptunium, élément transuranien artificiel de la série $(4n + 1)$ comporte aussi un isotope émetteur β , le ^{225}Ra , dont la période est de 4,18 jours.

Le radium, de masse atomique 226, fut découvert le premier. Par sa période très longue il a une incidence biologique

importante. C'est un métal alcalinoterreux, le plus électropositif du groupe. Ses ions sont incolores. Ses propriétés chimiques sont très voisines de celles du baryum : les chlorures, bromures, nitrates, sulfures et hydrates de radium sont solubles ; les sulfates, carbonates, chromates et iodates le sont très peu.

3. L'émanation du radium 226 : le Radon

Le radon et ses descendants méritent une étude un peu plus détaillée. Elle fera référence lors de l'exposé du principe des dosages de radium 226 dans le lait. Seront successivement étudiés sa préparation, ses propriétés physiques et chimiques, ce qu'il convient de savoir au sujet de sa période et de ses descendants (dépôt actif).

a) *Préparation du radon.*

Il est préparé ordinairement par dégazage d'une solution de chlorure de radium. Le gaz recueilli est purifié de ses impuretés, en particulier de l'oxygène, de la vapeur d'eau, du gaz carbonique (provenant de la décomposition de la graisse des robinets par l'action des rayonnements).

b) *Propriétés physiques et chimiques.*

Son numéro atomique est $Z = 86$.

Il fait partie des gaz rares : c'est le plus lourd de ceux-ci.

Il n'a que peu d'affinité chimique.

Température d'ébullition — 62°C .

Température de solidification — 72°C .

Masse atomique : des déterminations directes ont donné 218 et 227, il est admis en général la valeur de 222.

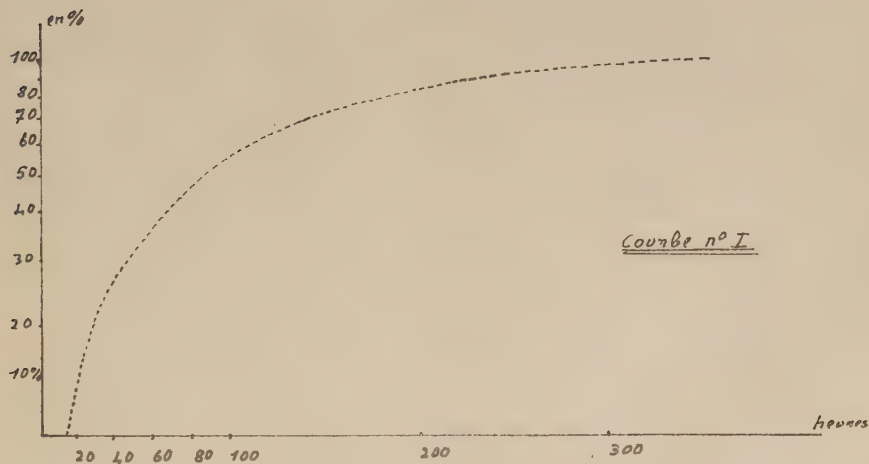
Solubilité : ce gaz (14) est plus ou moins soluble dans tous les liquides, le rapport entre sa concentration dans l'eau et dans l'air ambiant est de l'ordre de $1/3$. Cette solubilité

diminue avec la température. Il est beaucoup plus soluble dans certains liquides tels que le pétrole, le benzène, l'hexane, le sulfure de carbone.

Absorption : le radon est plus ou moins absorbé par tous les solides (caoutchouc, mousse de platine, charbon de bois...). Sur le charbon actif il est très facilement absorbé, surtout à très basse température. C'est donc par l'intermédiaire du radon qu'une solution de sel de radium abandonnée à l'air libre peut contaminer les parois de la pièce où se trouve cette solution le radon diffusant dans l'atmosphère.

c) Période du radon et rayonnements émis :

Une certaine quantité de Radium 226, placée dans une enceinte fermée, est à l'équilibre radioactif avec le radon en trois semaines environ : ce phénomène se trouve illustré par la courbe I.



*Accumulation du Radon en fonction du temps, dans une
enceinte fermée contenant du Radium 226.*

La période du radon est mesurée en suivant la décroissance du rayonnement du contenu d'un tube scellé lorsque l'équilibre avec le dépôt actif est réalisé, en trois heures environ. Cette période est de 3,825 jours.

Cette émanation émet des rayons α de parcours 4,08 cm dans l'air. 1 curie de radon correspond à 0,6 mm³ de radon à 0° C et sous une pression de 760 mm de mercure. Pour le radon on identifie deux dépôts actifs.

d) *Les dépôts actifs du radon :*

On en distingue deux variétés :

— le dépôt actif à évolution rapide (16) : (disposition rapide de ces radioéléments car leur période est courte). Aux appellations Ra A, Ra B, Ra C, Ra C', Ra C'', correspondent les éléments Polonium, Plomb, Bismuth, Polonium, Thalium.

— le dépôt actif à évolution lente : (disparition très lente de ces radioéléments car leur période est plus longue). Aux appellations Ra D, Ra F, Ra G, correspondent les éléments plomb, bismuth, polonium, plomb.

Les caractéristiques de ces radioéléments sont résumées dans le tableau ci-dessous :

<i>Radioélément</i>	<i>Sym- bole</i>	<i>Période</i>	<i>Mode décroissance</i>	<i>Energie</i>	<i>Rayons émis</i>	<i>Fils</i>
Polonium (Ra A)	Po	3,05 mn	99 % α - β - 0,02 %	5,97 mev	α , β	Pb, A
Plomb (Ra B)	Pb	26,8 mn	β -	0,59-0,65	β - α	Bi
Bismuth (Ra C)		19,8 mn	99 % β -	1,65-3,12	β - α	Po
	Bi		0,04 % α	5,5-5,44	α	Th
Polonium (Ra C')	Po	1, 6.10 ⁻⁴ sec.	α	7,68	α	Pb
Thalium (Ra C'')	Th	1,3 mn	β -	1,8	β -	Pb
Plomb (Ra D)	Pb	22 ans	β -	0,017	β -	Bi
Bismuth (Ra F)	Bi	5 ans	99 % β - 5.10 ⁻⁵ % α	1,15	β - α	Po
Polonium (Ra G)	Po	138 jours	α	5,208	α	

Il convient de souligner, pour clore ce chapitre, que l'équilibre radioactif du système radium-radon-dépôt actif est obtenu en 10 fois la période de 3,18 jours avec précision de 1 p. 1000.

4. Etat naturel

Alors que les radioéléments artificiels sont seuls responsables de la radioactivité artificielle, la radioactivité naturelle reconnaît deux origines : d'une part les rayons cosmiques, d'autre part les radioéléments naturels existant en proportion variable sur notre globe. Parmi ces derniers citons :

^3H , ^{14}C , ^{40}K , ^{238}U , ^{232}Th , ^{226}Ra .

Le radium 226 étant un descendant de l'uranium, il se rencontre le plus souvent associé à l'état naturel avec celui-ci. A l'état d'équilibre radioactif, le rapport en poids est $\text{Ra/U} = 3,4 \cdot 10^{-7}$. Quant au radium 228, signalé plus haut, sa présence est liée à celle du thorium dans le rapport $^{228}\text{Ra/Th} = 4,7 \cdot 10^{-10}$.

A la lumière de ces précisions, on peut examiner successivement la présence du radium dans les sols, l'eau, les aliments, les organismes.

a) *Le radium 226 dans les sols.*

La teneur de cet élément dans le sous-sol varie considérablement en fonction des roches constituanes. De nombreuses publications traitent de cette question : le tableau suivant, publié par Sievert et Hultqwert (17) (18), résume assez bien l'ensemble de ces variations ainsi que celles du thorium et du potassium.

Des mesures semblables furent effectuées un peu partout dans le monde. Les statistiques de l'O.M.S., publiées en 1961, indiquent toujours une teneur plus importante au sein des terrains très acides, riches en roches d'origine volcanique, que dans les régions à sous-sol essentiellement sédimentaire (excep-

<i>Roches</i>	<i>Ra en $\mu\mu$ g/g</i>	<i>Th en μ g/g</i>	<i>K³⁹ en g/100 g</i>
Roches volcaniques	1,3	1,2	2,6
Roches acides au moins 65 % de SiO ₂ (Granites)	3,1 à 6,5	9 à 59	2,5 à 5,1
Roches neutres (Diorite)	1,4	6	1,7
Roches basiques	0,83	5,1	0,7
Roches très basiques	0,52	3,3	0,8
Roches sédimentaires			
Marnes	1,5	11	2,3
Grès	1,4	5	1,1
Calcaire	0,9	1	0,3

tion faite de certains cas particuliers tels que les schistes alunifères de Suède qui titrent jusqu'à 60 pci/g., d'après Spiers (20).

L'équilibre radioactif précédemment évoqué n'est pas toujours établi dans les minéraux de formation plus récente par altération de la pechblende, carnotite, autumnite, chalcophile. Enfin, la complexité de cette répartition est encore plus grande car il faut tenir compte aussi des effets de dissolution et de sédimentation de l'eau qui peuvent modifier profondément cet équilibre. Ainsi, J. Danne (21) signale la présence, aux environs d'Issy-l'Evêque (Saône-et-Loire), d'une pyromorphite dépourvue d'uranium, dont la couche superficielle contient du radium déposé par les eaux radioactives. Enfin, d'après les auteurs américains, les sédiments terrestres seraient moins riches en radium 226 que ceux d'origine marine (de 0,09 à 0,08 pci/g.).

Quant aux roches volcaniques, de très grandes variations furent observées : d'après J. Joly (22), les laves du Vésuve titrent $12,3 \cdot 10^{-12}$ g/g, alors que Piggot ne trouve dans celle d'Havai que $0,96 \cdot 10^{-12}$ g/g.

b) Le radium 226 dans l'eau.

Dans les eaux de sources, les variations sont aussi considérables, car il existe une interaction constante entre l'eau et

les roches baignées. Un grand nombre de dosages effectués en divers points du territoire russe (23) indique des teneurs plus élevées dans les régions à sous-sol granitique (E. K. Federov et V. I. Baranov). Les mêmes constatations en France se trouvent résumées dans le tableau ci-dessous ; les valeurs sont celles données par Lepape (24) :

<i>Localités</i>	<i>Teneurs en $\mu\mu$ g/litre</i>
Bagnoles-de-l'Orne ...	68
Chatelguyon	38 à 53
Cauterets	0,85 à 3,4
Vittel	2 à 12
Contrexeville	10 à 16
Chateldon	300

A titre de curiosité, les eaux de Heidelberg (Allemagne) et celles du réservoir de Step Jachynov (Tchécoslovaquie) contiennent respectivement $1792 \cdot 10^{-12}$ et $1480 \cdot 10^{-12}$ grammes de radium par litre.

Les eaux de grandes rivières titrent en moyenne 10^{-13} gramme par litre.

Dans les eaux de mer, le pourcentage de radium 226 augmente, en raison de sa masse élevée, avec la profondeur (25) :

<i>Radium 226 en % par litre</i>	<i>Profondeur en mètres</i>
$0,4 \cdot 10^{-13}$ %	1300
$1,4 \cdot 10^{-13}$ %	0
$2,9 \cdot 10^{-13}$ %	600

c) *Le radium 226 dans les aliments.*

Comme l'indique Spiers (26) dans le tableau suivant, les farines, les œufs en contiennent beaucoup plus que d'autres produits, tels que le lait (l'unité est le picocurie par l.) :

	U.S.A.	Allemagne	Royaume Uni
Lait	0,22. 0,24. 0,22. 0,22. 0,2.	0,3	
Farines ...	2,7. 1,7. 2,4. 2. 1,34. 0,83.	2,7	
Haricots secs	6,1. 3,2. 7,8. 2,5. 2,3. 4,1.		
Œufs	4,1. 7,9. 2,7. 2,6. 1,9.	3,1	2

En outre, les noix et noisettes en contiennent une quantité importante. Enfin, on le rencontre aussi dans les plantes aquatiques et le plancton, qui ont la propriété de concentrer certains radioéléments dont le radium. D'après les études de Vernaskii (27), les plantes aquatiques ont une concentration au moins 100 fois plus forte que l'eau dans laquelle elles se développent : $9,7 \cdot 10^{-14}$ g pour les plantes et $2 \cdot 10^{-16}$ g pour l'eau.

d) *Le radium 226 chez l'homme et les animaux.*

Voinar (28) admet aussi pour les animaux aquatiques au moins un facteur 100 de concentration du radium dans leur organisme par rapport à l'eau.

Chez l'homme, de nombreuses études ont montré son affinité pour certains tissus et organes ; en particulier, les études de Hilly, Hursh, Muth (29) (30) (31), dont les principales indications sont résumées dans le tableau suivant :

<i>Organe ou tissu</i>	<i>Concentration du radium en curie/g. de tissu</i>
Os	$9,7.10^{-15}$
Muscles	$1,4.10^{-15}$
Poumons	$2,3.10^{-15}$
Foie	
Rate	$4,6.10^{-15}$
Testicules	$0,6.10^{-15}$

La quantité de radium contenu dans le corps humain est en moyenne de $1,18.10^{-40}$ g (32), ce qui correspond à 5.10^{-14} g de radium par gramme de cendres.

5. Métabolisme et toxicité

Les alcalinoterreux ont une toxicité croissante du calcium au baryum. Le calcium, comme le strontium, ne présente que peu de toxicité ; cependant, Riche (33) recommande d'en prohiber les sels à cause du danger des sels de baryum qui les accompagnent souvent. Alors qu'à très forte dose les sels de calcium provoquent la mort par arrêt cardiaque, les sels de strontium auraient une action plus élective sur le système respiratoire. Les sels de baryum sont très toxiques (34), la dose variant avec l'individu ; pour l'acétate, elle est de 2 g. Le chlorure de baryum, injecté par voie veineuse, provoque rapidement la mort. Le radium 226 étant l'homologue supérieur du baryum et ayant des propriétés physiques et chimiques voisines, on peut penser qu'il possède une toxicité chimique très grande. Cependant son danger provient surtout du rayonnement complexe (α , β , γ) émis par ce radioélément et ses produits de filiation (35).

L'action nécrosante du radium sur les téguments fut mise d'abord en évidence par Walkhoff et Giesel, puis confirmée par H. Becquerel et P. Curie. La filtration, qui élimine les

rayonnements mous nécrosants, permet de limiter l'action destructrice du radium à certaines cellules à prolifération rapide. Ces cellules se distinguent des cellules saines par une radiosensibilité différente ; ceci est à la base du traitement du cancer par curiethérapie.

Les différents tissus ont des sensibilités très variables ; les plus sensibles sont les plus jeunes, les plus prolifériques, comme si, au moment de la caryocinèse, le noyau cellulaire était plus vulnérable (36).

De même que le radium possède des propriétés physiques et chimiques voisines de celles du baryum, son métabolisme se superpose assez bien à celui du calcium.

Par la voie digestive, son absorption se fait exclusivement au niveau de l'intestin sous forme soluble. Il se fixe ensuite avec une affinité particulière sur le squelette.

Les études de E. Oberhausen (37) sur la rétention et la répartition du radium dans le squelette de l'homme ont fourni des renseignements intéressants sur le taux de renouvellement de l'os. Dans l'organisme, le radium et ses isotopes se comportent comme le calcium. En cas d'empoisonnement par le radium, la plus grande partie est éliminée par les matières fécales en quelques jours, très peu par l'urine et seule une faible quantité ingérée est retenue dans l'organisme pendant un très long temps.

Shlundt (38), en 1931, étudia la rétention de cet élément chez l'homme ; cette étude fut poursuivie depuis par Morris et Marinelli qui, en conclusion, indiquent que la rétention de radium dans l'organisme peut être décrite par une fonction de puissance. Ces auteurs estiment que le facteur global de discrimination calcium-radium pour les aliments et le squelette est égal à 100. (Le facteur de discrimination règle le taux d'absorption d'un radionucléide, par rapport à un corps chimiquement voisin, pour un organisme vivant dans un milieu où ce radionucléide est, à l'état naturel, associé à son homologue chimique.) La valeur élevée de ce facteur proviendrait de certaines différences dans la résorption et l'excrétion.

En Angleterre, après mesure des teneurs en radium de 200 aliments et de 100 des plus importantes réserves d'eau potable, la quantité de radium 226 ingéré par jour est estimée à 2 ou 3 pci par personne. En général, le taux moyen d'ingestion par l'eau représenterait 5 à 6 p. 100 de la quantité totale ingérée par l'individu (39). Alors que Rajewski et Muth considéraient chez l'adulte une quantité égale à 2 p. 100 retenue dans le squelette lors de l'ingestion, chez l'enfant, il semble que ce taux soit beaucoup plus élevé. Une expérimentation (40) sur un enfant de trois ans et demi et portant sur 33 jours indiquerait une rétention de l'ordre de 10 p. 100.

D'après Muth, Rajewski, Hantke et Aurand (41), les teneurs en radium 226 seraient 10 fois plus fortes dans les os de bovins que dans le squelette humain. Ceci provient, semble-t-il, de la composition différente des aliments.

CHAPITRE II

TECHNIQUES

1. Technique de base

La technique utilisée pour ce travail s'inspire de celle employée pour doser le radium 226 dans l'urine par Jeanmaire et Jammet (42) : le principe en est le même.

A) PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Le lait subit successivement une dessiccation puis une minéralisation.

La dessiccation se fait en deux temps :

— pendant 16 heures, entre 70 et 80°C dans une étuve à ventilation ;

— pendant 24 heures, à 180°C dans une étuve verticale.

La minéralisation s'effectue en 24 heures dans un four à 700°C ; le lait est ainsi réduit en cendres (1 litre de lait fournit en moyenne 6 grammes de cendres.

B) PRINCIPES DE LA TECHNIQUE

Après mise en solution des cendres, le radium est entraîné sur un précipité de sulfate de baryum. Le radium présent dans ce précipité est mis en évidence par détection des scintillations dues aux particules qu'il émet. Pour ce faire, du sulfure de zinc lui est mélangé le plus intimement possible, le sulfure de zinc jouant le rôle de scintillateur. Les scintillations produites par excitation des molécules de sulfure de zinc sous

le choc des particules α sont amplifiées par un photomultiplicateur et dénombrées par un appareillage électronique approprié.

Comme indiqué au chapitre précédent, le radium 226 peut être identifié par l'allure d'une courbe représentant l'augmentation de l'activité de l'échantillon au cours du temps.

C) MATÉRIEL

L'installation de comptage comprend :

- une haute tension,
- une échelle de comptage,
- un détecteur composé d'un PM 53 A.V.P., d'un pré-ampli de type « Gabon »,
- une enceinte noire pour mettre la tête détectrice,
- un petit buchner pour filtration,
- une capsule de comptage, constituée d'un cercle de laiton (diamètre 60 mm, hauteur 5 mm), dont le fond est formé d'une bande de sparadrap ; le tout recouvert d'un disque de plexiglas,
- un mortier de verre,
- une capsule de platine, diamètre 50 mm.

D) RÉACTIFS

- Acide sulfurique normal.
- Acide chlorhydrique fumant, R.P. ($d = 1,19$).
- Chlorure de baryum : $\text{Cl}_2 \text{ Ba } 2 \text{ OH}_2$, 10 g,
 OH_2 qsp. 100 ml.
- Carbonate de calcium R.P.
- Sulfure de zinc GN₁₇ ; Massiot Fluor ; Ailly Le Haut Clocher.

E) RÉALISATION

a) *Mise en solution des cendres* : Placer une quantité de cendres correspondant à deux litres de lait dans un bécher d'un litre. Mélanger à 80 ml d'acide sulfurique normal et ajouter environ 800 ml d'eau permutée.

Porter le contenu à 70°C avant d'achever la dissolution par de l'acide chlorhydrique fumant ($d = 1,19$), à raison de 1,5 ml environ par gramme de cendres.

Après refroidissement, filtrer pour éliminer le carbone résultant d'une minéralisation rarement parfaite. On peut constater, après minéralisation des filtres et comptage du résidu, mêlé à du sulfure de zinc, que la quantité de radium retenue dans ceux-ci était négligeable.

b) *Précipitation* : A l'ébullition, entraîner le sulfate de radium sur un précipité de sulfate de baryum en ajoutant goutte à goutte 5 ml de chlorure de baryum. Prendre soin de bien agiter.

c) *Filtration* : Laisser reposer trois heures avant de filtrer sur büchner.

Laver à l'acide sulfurique 0,1 N.

Prendre soin de noter exactement l'heure de calcination qui sera prise comme instant $t = 0$, l'élévation de la température produisant un dégazage et chassant le radon occlus dans les grains de précipité.

Peser le résidu.

Cette technique étant étudiée pour les analyses d'urine, le poids du résidu est de 100 mg. Avec les laits on obtient des poids plutôt supérieurs : leur fréquence est donnée dans le tableau suivant, portant sur 110 échantillons :

Poids en mg	73	84	88	90	91	92	94	95	96	97
Fréquence ...	2	1	1	3	1	3	1	5	4	2
Poids en mg	98	100	101	102	103	104	105	106	107	108
Fréquence ...	3	15	0	1	5	5	15	4	1	16
	109	110	111	112	113	114	115	116	117	127
	1	16	1	7	4	1	4	3	1	1

d) *Préparation pour le comptage* : Compléter à 300 mg par du carbonate de calcium ; en effet, on constate que le meilleur rendement est obtenu pour un rapport $SZn = 4$, et

Précipité

pour un poids égal à 42 mg/cm², soit, pour la surface de la capsule, un poids total de 1,5 gramme.

Mélanger soigneusement au mortier 1,2 g de SZn à 0,3 gramme formé par l'addition de carbonate de calcium et de précipité.

Etaler le tout dans une capsule de façon très uniforme.

e) *Comptage* : Placer le disque porte-échantillon sous la fenêtre du photomultiplicateur.

Effectuer une mesure d'une durée telle qu'il soit possible de suivre pendant trois semaines environ l'augmentation de la radioactivité du mélange contenu dans la capsule. A ce sujet, quelques remarques s'imposent : l'installation de comptage fonctionnant avec une source constituée par un mélange d'émetteur α et de sulfure de zinc ne présente pas de palier.

Les conditions d'utilisation (discriminateur et tension) sont choisies pour obtenir le meilleur rapport signal/bruit de fond. Il est donc nécessaire de vérifier tous les jours le rendement de l'installation à l'aide d'une source stable (mélange de carbonate de calcium, de sulfure de zinc et d'uranium naturel).

Le mouvement propre de l'installation, mesuré à l'aide d'un blanc dans une capsule identique à celles utilisées (1,2 g de SZn + 0,3 de CO₃ C4), n'est pas supérieur à 0,04 cps/mn.

Le rendement de comptage est de 25 p. 100, les sources étant placées à 1,5 cm du photomultiplicateur.

f) *Interprétation des résultats* :

α Cas théorique :

Une surcharge importante fut ajoutée à un lait, de sorte que la quantité normalement contenue dans ce liquide fut négligeable.

A l'aide de la technique exposée, la courbe expérimentale II a été obtenue. Cette courbe a été comparée à la courbe théorique, les différents points de celle-ci ayant été obtenus par le calcul. Jusqu'au jour 5, ces deux courbes se superposent exactement. L'activité du premier jour est celle due uniquement au radium, c'est donc la teneur recherchée. Cette valeur sera exacte lorsque la courbe expérimentale se superposera sur la courbe théorique.

$$\text{L'activité en picocurie est : } A = \frac{N \cdot N_0}{R \times 2,2}$$

N = activité initiale en coups par minute.

N_0 = mouvement propre en coup par minute.

R = rendement de l'installation.

A = activité en picocuries.

N est connu avec une certaine imprécision due aux erreurs statistiques. Cette imprécision a pour valeur : $\pm 2 \quad N$

n = nombre de coups totaux,

t = temps de comptage en minutes.

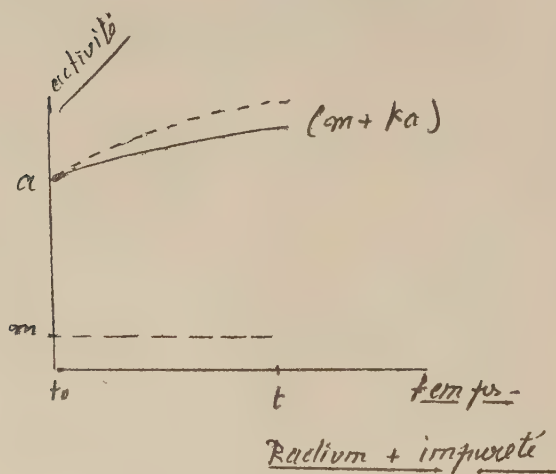
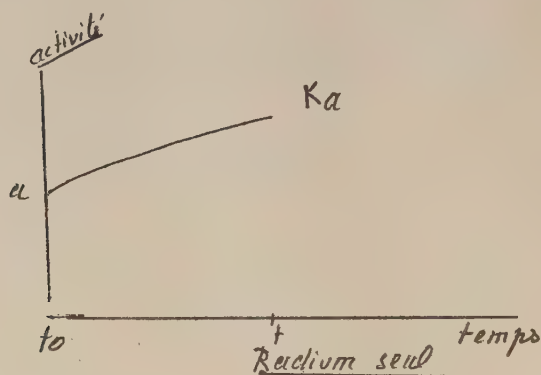
β Cas pratique :

D'une part, la teneur en radium dans le lait est faible, donc les erreurs relatives seront importantes par rapport au taux de comptage. D'autre part, il est possible d'entraîner, outre le radium, d'autres émetteurs α , provoquant une modification de la courbe normale de croissance. En admettant que cette activité parasite demeure sensiblement constante au cours de la série de mesures, il est possible de déduire la quantité de radium présente dans l'échantillon, car l'augmentation d'activité est exclusivement due aux descendants du radium.

En effet, dans le cas du radium seul, l'activité initiale au temps $t = 0$ est « a ». Au temps t elle est égale à Ka . La différence d'activité due aux descendants du radium entre les temps t et t_0 est :

$$Ka - a.$$

Dans le cas d'impuretés, l'activité initiale est égale à la somme « m » des activités de l'impureté et du radium. Au temps t , cette activité est égale à : $m + Ka$.



La différence d'activité est toujours comme dans le cas précédent : $Ka-a$.

Cependant, l'augmentation du taux de comptage constatée est inférieure à l'augmentation théorique. Il faut raisonner de la manière suivante : étant donné qu'une activité de radium $a = 1$ cp/mn produit une augmentation de $(Ka-a)$ ou de

a (I-K) cp/mn après un temps t, un accroissement de 1 pendant le même temps provient de $\frac{1}{(K-1)}$ cps/mn de radium.

Un accroissement (x-x') provient de $\frac{x-x'}{K-1}$ cps/mn de radium.

Voici les valeurs théoriques de K chaque jour en prenant 1 comme valeur de a :

Jours	Valeurs de K	Jours	Valeurs de K	Jours	Valeurs de K
1	1,44	8	3,28	15	3,74
2	1,9	9	3,40	16	3,78
3	2,25	10	3,48	17	3,82
4	2,55	11	3,54	18	3,85
5	2,82	12	3,59	19	3,88
6	3,02	13	3,63	20	3,9
7	3,18	14	3,7	21	3,92

F) CRITIQUE DE LA TECHNIQUE

La technique employée a l'avantage d'être simple.

Dans un laboratoire disposant d'un ensemble de comptage, aucun matériel spécial n'est requis pour effectuer de tels dosages.

Les manipulations sont simples : aucun spécialiste n'est nécessaire pour effectuer les différents temps de dosage. Ce procédé peut donc être mis entre toutes les mains.

Il est donc facile de déceler une quantité de radium 226 de l'ordre de 0,15 pci par litre de lait. Cette technique est donc à conserver pour les dosages de routine.

Certains inconvénients cependant la rendent difficilement

utilisable en vue de dosages systématiques de grande précision. On peut lui reprocher :

- un manque de spécificité,
- un manque de sensibilité,
- la nécessité de nombreux comptages par échantillon.

Comme il a déjà été souligné, à propos du calcul, le précipité peut entraîner d'autres émetteurs α , en particulier des corps tels que le thorium qui a une période longue. Ces émetteurs peuvent perturber considérablement la croissance normale de l'activité du résidu, par mise à l'équilibre du radium 226 avec le radon et son dépôt actif. A titre d'exemple, il fut impossible, par cette technique, de déterminer la teneur en radium 226 d'un échantillon; en effet, au cours du temps les activités suivantes ont été relevées :

<i>Jours</i>	<i>Coups/mn obtenus °</i>	<i>Au lieu de : (en coups/mn)</i>
0	7,6 $\pm$ 0,7	7,6
1	7,2 $\pm$ 0,4	10,7
2	6,7 $\pm$ 0,5	14,4
3	7,4 $\pm$ 0,7	17,1
7	5,4 $\pm$ 0,6	24,2
8	8,5 $\pm$ 0,3	24,9
14	7,7 $\pm$ 0,7	28,1
24	8,7 $\pm$ 0,6	30,4

Il y avait probablement dans ce lait une proportion importante d'impureté par rapport à une quantité très faible de radium 226, dans la marge des fluctuations statistiques.

La technique est encore peu sensible : bien que le mouvement de nos installations soit très bas (0,04 cps/mn), les résultats sur des comptages d'une heure, lors des premiers jours, sont entachés d'une erreur relativement importante. Un comptage de 20 coups par heure donne, en tenant compte de l'incertitude statistique : $0,33 \pm 0,15$, incertitude donnée par

la formule $n \pm 2 \sqrt{\frac{N}{t}}$

Dans certains cas, vu l'importance des écarts, il sera très difficile de tracer la courbe exacte, surtout dans la portion qui correspond aux premiers jours. Or, il est impossible de diminuer ces écarts en augmentant considérablement le temps de comptage (t) : c'est à cette époque, en effet, que la variation au cours du temps est la plus grande.

Il faut admettre, compte tenu de ces remarques, qu'il est impossible de donner des valeurs inférieures à 0,15 pci/litre de lait.

Afin de suivre le mieux possible l'accroissement d'activité, vu l'importance des erreurs relatives, il est nécessaire de procéder au début à des comptages quotidiens pour chaque échantillon. Ne disposant que de deux installations de comptage (réservées à ce travail), il n'était pas possible de réaliser plus de quatre dosages par semaine, ce qui est très nettement insuffisant en cas d'étude systématique.

Pour toutes ces raisons, ont été mises en œuvre des techniques, peut-être plus compliquées, mais, d'après leurs auteurs, plus spécifiques, plus sensibles et ne présentant pas de tels inconvénients de comptage.

2. Autres techniques

Les résultats acquis par la technique précédemment décrite font apparaître des variations importantes de la quantité de radium 226 contenu dans le lait de vache, en fonction, semble-t-il, du lieu de collecte. Pour plus de précision, on a pensé qu'il serait bon de disposer d'une technique plus sensible et plus spécifique, permettant une étude systématique plus fine et plus rapide. Il serait alors possible de savoir si seules les variations géographiques sont en cause ou si l'âge de l'animal, l'époque de lactation, la saison, sont aussi responsables de telles différences.

L'exposé de ces techniques, jamais réalisées en France, constitue la dernière partie de ce chapitre. Les deux procédés ont un principe commun : la mise en évidence du radium 226,

dans les échantillons, par son émanation le radon. Ceci fut réalisé par Lucas d'une part (43) (44) (45) et par Rushing d'autre part (46).

A) PRÉPARATION DES ÉCHANTILLONS

Elle est identique à celle précédemment décrite.

B) PRINCIPE DE LA TECHNIQUE

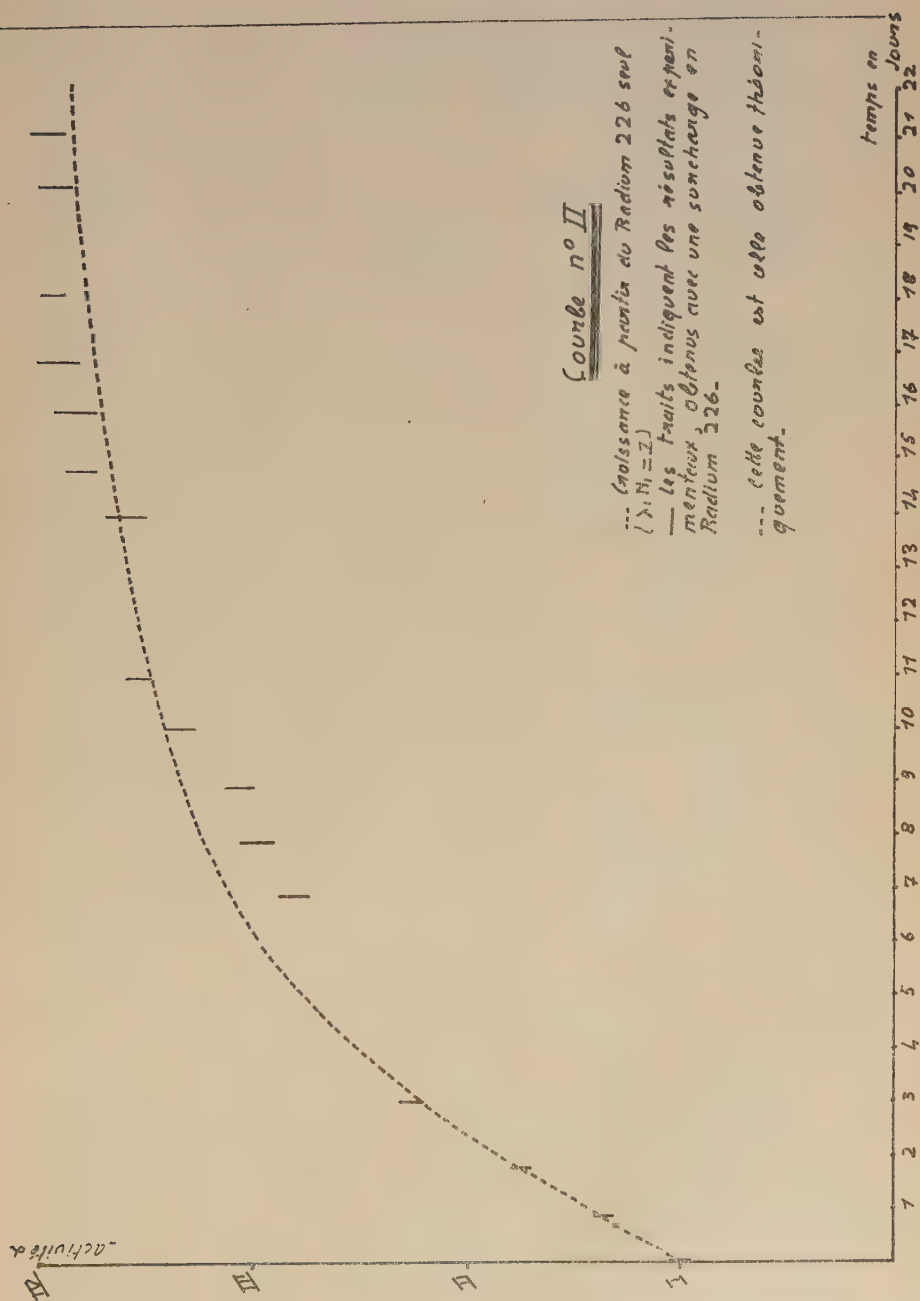
Il y a dégagement de radon à partir du radium 226 contenu dans les cendres de lait mises en solution dans un ballon fermé. Après 15 jours, 98 p. 100 du radon qui peut émaner du radium 226 est accumulé dans le ballon (voir courbe I). Ce gaz, entraîné par l'air, est retenu sur du charbon actif à très basse température. Chauffé à 500°C, le charbon laissera le radon se dégager, ce dernier sera recueilli dans un ballon enduit intérieurement de sulfure de zinc comme scintillateur. Les scintillations produites à l'intérieur du ballon sont analysées par un photomultiplicateur. Connaissant le nombre d' α dus au radon, un calcul simple permet d'obtenir la quantité initiale de Radium 226. En effet, à l'équilibre radioactif, radium 226, radon, dépôt actif, il y a quatre émissions ; après extraction du radon, celui-ci se met de nouveau à l'équilibre avec son dépôt actif en trois heures ; ce dernier état d'équilibre est à l'origine de trois émissions α (condition des mesures dans cette technique). Il est évident que, dans la première technique, la quantité de radium 226 est déterminée par la mesure d'une seule émission α .

C) MATÉRIEL

L'appareillage est inspiré des travaux de Henry F et Lucas Jr.

— Verrerie :

- Ballon pour dégagement du radon.
- Trois types de barboteurs.
- Six vases de Dewar.



- Four électrique (atteignant 550°).
- Une pompe à vide.
- Une pompe aspirante et refoulante.
- Un vacuostat.
- Un manostat, type E. M. 1044, B. Flowmaster. corporation New York.
- Un compteur à radon fabriqué par :
William H. Johnston Laboratory, INC. 3617 Woodland Avenue Baltimore.
- Type de compteur : Low level Radon counter. LAC 2.
- Sensibilité : 5,6 cps/mn/pci de radon.
- Mouvement propre : 0,08 cp/mn.
- Un thermomètre (de 0° à -80°).
- Un générateur à très haute tension, une échelle de comptage.
- Un détecteur comprenant : un photomultiplicateur, type 53 A. V. P., un préampli type « Gabon ».
- Une bouteille d'air comprimé vieilli : ceci afin d'éliminer une partie du radon qui se trouve à l'état naturel dans l'air (la période du radon étant de courte durée, 3,825 jours ; après quelques semaines, il ne restera que très peu de radon dans l'air ainsi emmagasiné).
- Une bouteille d'hélium « R » de « l'Air Liquide » :
He 99,99 %,
H₂O 10 ppM,
O₂ 10 ppM.

D) RÉACTIFS ET RÉFRIGÉRANTS

- Acide nitrique concentré R.P.
- Acide nitrique normal.
- Charbon actif.
- Chloroforme « Usage industriel ».
- Tétrachlorure de carbone.
- Carbo-glace « L'AIR LIQUIDE ».

Le mélange est réalisé de la façon suivante : Mettre à partie égale le chloroforme et le tétrachlorure de carbone, refroidir le liquide ainsi obtenu par du carbo-glace, réduit en poudre, que l'on aura soin d'ajouter doucement ; la température doit se maintenir entre -70°C et -80°C .

Il faut utiliser une graisse pour rodages, par exemple la graisse « Apiezon M », fabriquée par Metropolitan Vickers Electrical Co Ltd.

E) RÉALISATION

L'exposé des différentes opérations à effectuer étant particulièrement fastidieux, seront indiqués successivement :

α) Le trajet des gaz dans les différentes parties du montage.

β) Les différents temps de la technique qu'un utilisateur éventuel devra effectuer rigoureusement.

γ) Le comptage.

α) *Trajet des gaz :*

Le montage représenté sur le schéma n° 2 est constitué des parties I et II.

I correspond à la rubrique « Adsorption du radon sur le charbon actif ».

II correspond à la rubrique « Remplissage du compteur ».

Première partie : « Adsorption du radon sur le charbon actif » :

Pour chasser le radon accumulé dans le ballon après 15 jours, un courant d'air vieilli (débarrassé de sa vapeur d'eau et de son radon par les pièges P₁ et P₂) est admis dans le ballon. Ce courant d'air entrant par R₁, sort du ballon par R₂, entraînant le radon de la solution : celui-ci sera retenu par le charbon actif du piège B₃ (ce piège refroidi par le mélange réfrigérant est à -75°C). Le volume d'air ainsi admis représente un volume total d'environ 30 litres, avec un débit de

l'ordre d'un litre par minute ; ce débit est réglé d'après l'indication donnée par le manostat. Avant ces manœuvres, les pièges B₁, B₂, B₃ seront sous vide, car l'air extérieur contient du radon, ce qui peut perturber des mesures très précises.

Deuxième partie : « Remplissage du compteur » :

Le piège B₃, où existe une dépression, est porté au four électrique à 550°C. A cette température le radon se dégage ; pour l'entraîner en totalité dans le compteur, il faut procéder à des « rinçages » du charbon par un courant d'hélium en provenance du réservoir (capacité environ 15 ml). Le mélange He + Rn est aspiré par la pompe hors de B₃, puis refoulé dans le compteur (volume environ 100 ml). Le compteur est rempli à la pression atmosphérique. Un manomètre à mercure, situé à l'extrémité du montage, et en relation avec le compteur, contrôle la pression.

β) Temps successifs de la technique :

= Régénération du charbon :

- Chauffer à 500° sous vide, jusqu'à cessation du dégagement gazeux, les sept grammes de charbon actif contenus dans P₂ et B₃.
- Fermer ensuite R₅ et R₆ pour que B₃ reste sous vide.

= Préparation des ballons de dégagement :

- Dissoudre les cendres dans l'acide nitrique concentré à raison de 1,85 ml par gramme de cendres.
- Ajouter de l'eau distillée à raison de 1 ml pour 0,2 gramme de cendres.
- Compléter à 300 ml avec de l'acide nitrique normal.
- Faire barboter de l'air pour dégazer le radon de la solution. Fermer R₁ et R₂.
- Laisser le ballon, ainsi fermé, au moins sept jours, pour l'accumulation du radon.

= Adsorption du radon sur le charbon actif :

- Placer le mélange réfrigérant dans chaque vase de Dewar. Le mélange est maintenu entre -75°C et -80°C .
- Faire le vide par VI dans B₁ et B₂ (vide de l'ordre de 0,5 mm de mercure).
- Ouvrir R₅.
- Fermer R₄.
- Ouvrir R₃, R₂, R₆, puis R₁, refermer R₃.
- Laisser circuler 30 litres d'air (débit environ 1 litre par minute).
- Fermer R₆, R₁, R₂. Ouvrir R₄.
- Faire le vide par V₁ dans B₃ (0,5 mm de mercure).
- Fermer R₅.
- Retirer B₃, le porter au four (500°C).

= Remplissage du compteur :

- Faire le vide par V₂ et V₃ dans le compteur et la pompe n° 2 ; pour ce faire, ouvrir R₉, R₁₀, R₈.
- Remplir A. d'hélium en ouvrant et refermant R₇.
- Ouvrir R₈, puis R₆ avec précaution.
- Fermer R₈.
- Mettre en marche la pompe n° 2 jusqu'à stabilisation du mercure dans le capillaire.
- Fermer R₆.
- Faire autant de « rinçages » qu'il est nécessaire pour le remplissage du compteur (à la pression atmosphérique).

On peut être gêné dans la réalisation de la technique par une circulation de fines particules de charbon dans les canalisations. On remédie à cet inconvénient par de petits tampons de coton de verre disposés à la surface du charbon.

γ) Comptage :

Il s'effectue trois heures après le remplissage du compteur. Ces trois heures représentent le temps nécessaire pour obtenir l'équilibre radioactif entre le radon et son dépôt actif.

Le compteur est placé sur la photocathode du photomultiplicateur.

Pour le choix de la tension, avec les deux installations utilisées, on a obtenu un palier de 100 volts environ, en faisant varier progressivement la tension (courbe III).

Si le photomultiplicateur transmet à l'échelle de comptage x cps/mn, ces coups sont dus aux désintégrations du radon. Or, on sait qu'à l'équilibre 3 α , dus au radon, correspondent à 1 α de radium 226 : le radium 226 sera à l'origine d'une activité correspondant à $x/3$ cps/mn.

Il faudra, en outre, tenir compte dans les calculs :

- Du pourcentage de radon accumulé dans le ballon en fonction du temps.
- Du mouvement propre de l'installation.
- Du rendement.

Pourcentage de radon accumulé :

La courbe n° 1 indique les valeurs calculées de cette accumulation en fonction du temps.

Mouvement propre de l'installation :

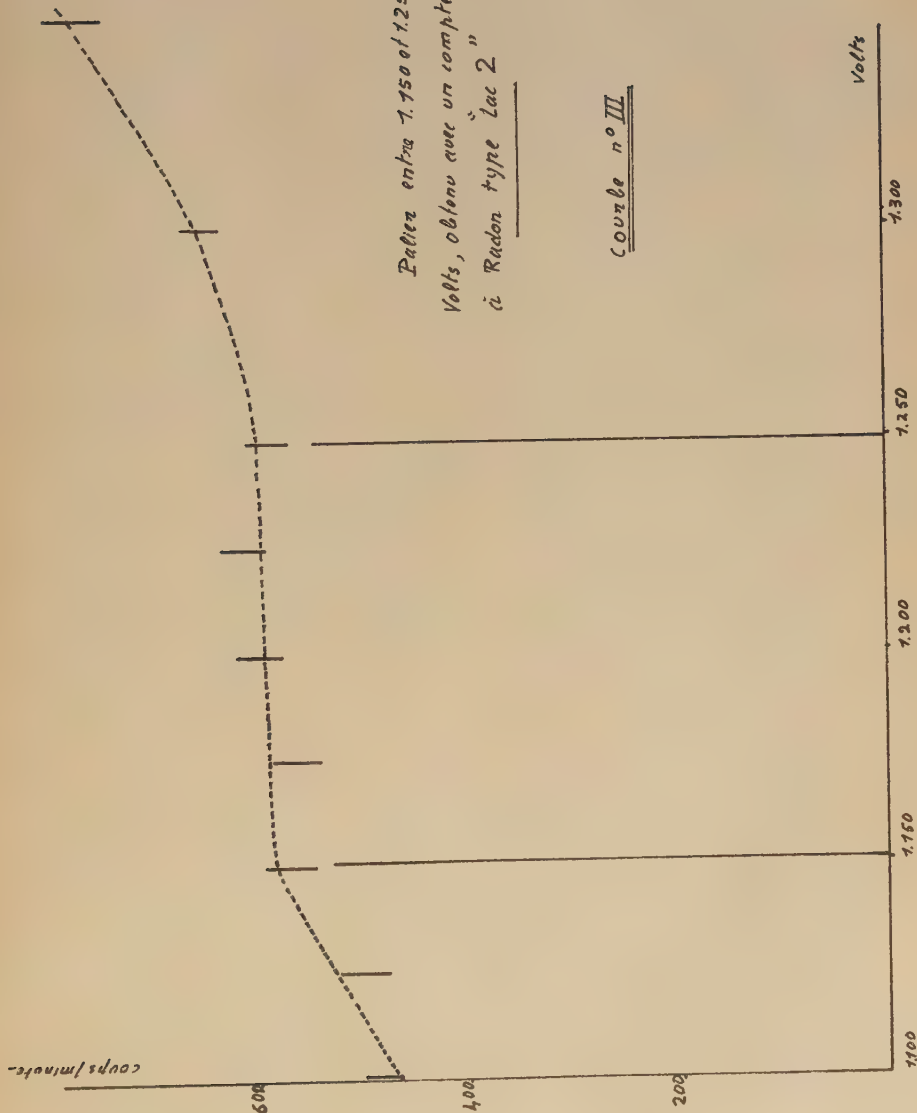
Il comprend celui du compteur et celui des réactifs.

Pour le compteur vide, ont été trouvées, avec l'installation électronique dont on disposait, les valeurs suivantes :

0,08	±	0,016	cp/mn
0,097	±	0,011	»
0,07	±	0,03	»
0,1	±	0,017	»
0,09	±	0,01	»
0,084	±	0,018	»
0,069	±	0,01	»
0,08	±	0,01	»

Patient entre 1.150 et 1.250
Volts, obtenu avec un compteur
à Radon type "Lac 2"

Course n° III



Pour le compteur plein d'hélium (pression atmosphérique) :

0,116	±	0,03	cp/mn
0,11	±	0,018	»
0,10	±	0,02	»
0,177	±	0,06	»

Quant au mouvement propre des réactifs et verreries utilisées, des essais « à blanc » ont donné :

0,22	±	0,01	cp/mn
0,4	±	0,04	»
0,47	±	0,13	»

Il existe donc une certaine activité qui peut provenir : de l'appareillage, des réactifs, d'une adsorption incomplète sur P₂ du radon de l'air vieilli. En effet, le test suivant le démontre : après avoir fait passer 40 litres d'air sur P₂, celui-ci est passé dans B₃. A la suite du dégazage de B₃, et remplissage du compteur, on constate une activité de $0,28 \pm 0,03$, activité bien supérieure à celle d'un compteur plein d'hélium. Donc, avec ce montage, tout le radon de l'air, qui peut provenir du radium contenu dans les parois de la bouteille, n'est pas adsorbé. Il faut donc envisager de placer un piège à radon supplémentaire.

F) CRITIQUES

D'après les travaux de Lucas, cette technique aurait un rendement de 82 p. 100. Il n'a pas encore été possible de vérifier celui-ci avec précision, faute de solution de radium 226 rigoureusement étalonnée, ces solutions s'altérant rapidement par interaction avec les parois du récipient. Cependant les quelques essais effectués avec des solutions dont l'ordre de grandeur de l'activité est connu, semblent indiquer de tels rendements.

La sensibilité serait de 0,05 pci.

Cette technique, bien qu'onéreuse et compliquée, apporte des avantages certains par sa précision, sa spécificité, sa sensibilité.

Pour le cas du lait, il serait possible de descendre en dessous de 0,15 pci/litre d'activité due au radium 226 ; ainsi des études très fines sur les causes de variation de cette teneur pourraient être effectuées.

Dernièrement, cette technique fut perfectionnée et simplifiée par D. E. Rushing. Cette modification allège beaucoup les opérations ; en effet, un précipité de sulfate de baryum et de radium 226 est mis en solution par de l'acide fluorhydrique, puis repris par de l'acide phosphorique ; le tout, enfin, traité par l'acide chlorhydrique ou nitrique. Ce mélange placé dans un barboteur spécial est purgé de son radon ; le radon se dégagera dans ce récipient clos. Puis, par dégazage du liquide, le radon formé est entraîné dans un compteur type « Lac 2 » en vue du comptage.

Cette mise au point est toute récente ; on n'a pas eu encore la possibilité d'essayer cet appareillage. Le rendement en serait excellent, de l'ordre de 98 p. 100.

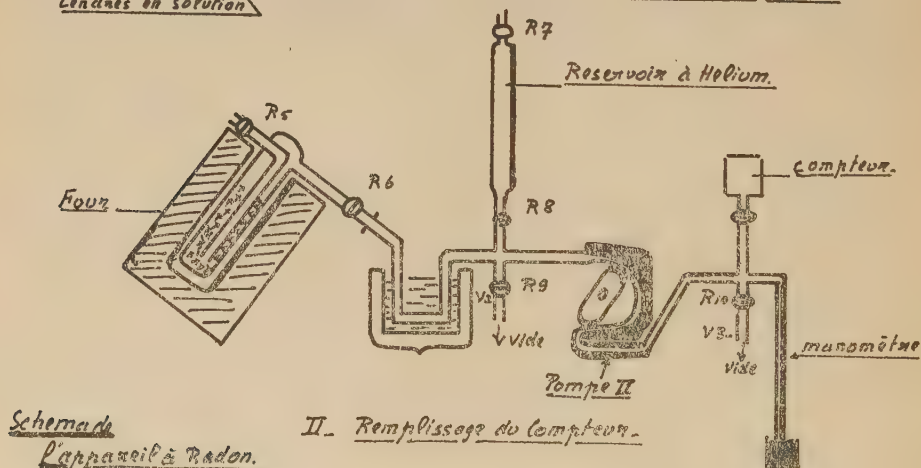
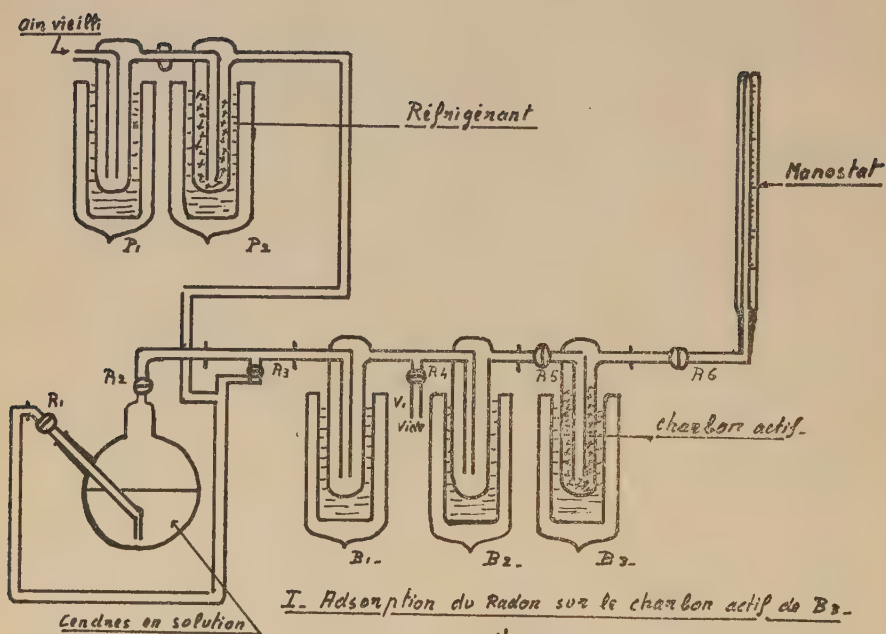


Schéma de l'appareil à Radon.

CHAPITRE III

RESULTATS - DISCUSSION

a) Résultats

Les laits pour lesquels des résultats ont été obtenus se divisent en deux catégories :

1° Des laits de mélange prélevés sur les centres de consommation des 24 départements français ;

2° Des laits provenant de localités bien déterminées, prélevés pendant la période « hiver-printemps 1963 » par les soins des Directions des Services Vétérinaires des départements suivants (1) :

Finistère
Haute-Loire
Loire-Atlantique
Morbihan
Saône-et-Loire
Haut-Rhin
Bas-Rhin
Haute-Vienne.

A ajouter à cette liste des laits des départements de l'Allier, de la Corrèze et des laits provenant d'une région particulièrement riche en minerai d'uranium : la région du Forez.

Le nombre d'échantillons analysés s'élève à 87. Ces analyses portent sur 34 départements français. D'après les statistiques de 1961, publiées par le Ministère de l'Agricul-

(1) Nous tenons à remercier particulièrement MM. les Directeurs des Services Vétérinaires de ces départements pour l'aide précieuse qu'ils ont bien voulu nous apporter dans la réalisation de ce travail.

ture (47), ces 34 départements représentent à eux seuls plus de la moitié de la production du lait de la consommation métropolitaine, soit 26.496 milliers d'hectolitres.

Production totale	226.282	milliers d'hectolitres	
Consommation humaine	47.377	»	»
Consommation des veaux	45.914	»	»
Fabrication du beurre	83.264	»	»
Fabrication du fromage	44.137	»	»
Usages divers	5.580	»	»

1° LAITS DE GRAND MÉLANGE.

Le tableau suivant montre que sur 24 départements, de sous-sol très différent, les teneurs en radium offrent des variations importantes. Ainsi, on passe de teneurs inférieures à 0,15 pci/litre de lait pour les départements du Nord et du Bassin parisien, à des teneurs beaucoup plus élevées dans certains départements tels que la Vendée, la Saône-et-Loire, la Haute-Vienne.

Départements	Nombre d'échantillons	Teneur en pci/litre (moyenne)
Alpes-Maritimes ...	1	< 0,15
Ardennes	5	< 0,15
Ariège	1	< 0,15
Bouches-du-Rhône .	1	0,15
Cantal	2	0,25
Charentes	1	0,22
Côte-d'Or	1	0,25
Eure-et-Loir	1	0,15
Finistère	2	0,24
Haute-Garonne	1	0,15
Gironde	1	0,15
Ille-et-Vilaine	3	0,33
Indre-et-Loire	3	0,15
Loiret	1	0,21
Nièvre	2	0,21
Nord	1	< 0,15

<i>Départements</i>	<i>Nombre d'échantillons</i>	<i>Teneur en pci/litre (moyenne)</i>
Bas-Rhin	3	0,15
Rhône	4	0,3
Saône-et-Loire	3	1,4
Seine-et-Marne	1	< 0,15
Seine-et-Oise	1	< 0,15
Somme	4	< 0,15
Vendée	4	0,65
Haute-Vienne	2	0,85

Dans certains départements, plusieurs dosages furent effectués à un mois d'intervalle afin d'éliminer d'éventuelles erreurs. C'est ainsi que, pour le département des Ardennes, 5 échantillons furent mesurés : toujours le taux s'est révélé inférieur à 0,15 pci/litre. Pour le département de la Vendée, on a toujours trouvé des valeurs supérieures à 0,15, soit successivement : 0,3 ; 0,7 ; 1,12 ; 0,5.

En reportant ces premières valeurs sur une carte géologique, on constate que c'est principalement dans les départements à sous-sol de formation primaire qu'on trouve des valeurs plus fortes ; ce sont, en particulier, les départements du Finistère, du Morbihan, de l'Ille-et-Vilaine, de la Nièvre, de Saône-et-Loire, du Rhône, de la Vendée, de la Haute-Vienne. A l'opposé, dans les régions sédimentaires : Nord, Bassin parisien, Bassin aquitain, Bouches-du-Rhône, les teneurs oscillent, semble-t-il, entre 0,1 et 0,2, mais jamais plus.

On peut remarquer, d'autre part, que dans certains départements où existent des minerais d'Uranium, la teneur en radium 226 se révèle être plus forte dans le lait. C'est, en particulier, le cas de la Vendée, de la Haute-Vienne, de la Saône-et-Loire.

Ces gisements se situent, en général, dans les régions hercyniennes qui forment en France trois îlots :

Le Massif Central,
Le Massif Armoricaïn,
Les Vosges.

On a alors cherché à mieux localiser les prélèvements dans ces régions afin de savoir si le lait pouvait refléter par sa teneur en radium 226 la structure du sous-sol.

2° LAITS DE 26 LOCALITÉS.

Ces localités furent choisies en fonction de la connaissance des grandes régions uranifères situées d'après les travaux de M. Roubault (48).

En règle générale, les gisements se rencontrent dans les formations de type « filonien hydrothermal à pechblende », localisées dans les formations cristallines acides, ou dans certains types de formations dérivés du précédent, mais à minéralisation secondaire (filon de quartz, parsonsites et autres minerais oxydés, gisements de formes diverses à autumnite et chalcolite).

Les principales régions sont :

— l'Autumnois et le Morvan (c'est à Saint-Symphorien-de-Marmagne que l'autumnite fut découverte par de Champeaux en 1800) ;

— l'Auvergne, avec le district de Lachaux, dans les monts du Forez et de la Madeleine, entre la Loire et l'Allier (20 km au sud-est de Vichy). C'est un ensemble granitique avec des accidents tectoniques (failles ayant provoqué un ensemble de minéralisations), limité à l'ouest par la plaine tertiaire de la Limagne ;

— le Limousin, en particulier dans le massif granitique et granulitique d'Ambazac, qui affleure au nord de Limoges ;

— la Vendée, dans le massif granitique de Mortagne ;

— différentes régions, enfin, où furent relevés des indices ; la Creuse, région de Boussac ; les Vosges, dans le voisi-

nage de Kruth (où existe un gisement de pechblende, avec des sulfures de plomb, de zinc, de cuivre) ; le sud du Massif Central ; l'Aveyron, la Lozère ; les schistes westphaliens du Haut-Rhin.

A l'heure actuelle, les principaux centres d'exploitation sont situés dans la Loire, la Haute-Vienne, la Vendée, la Loire-Atlantique, le Morbihan, la Saône-et-Loire.

a) Lait de Saint-Symphorien-de-Marmagne :

En raison de la valeur historique attachée à cette commune, on se devait d'examiner le lait provenant d'une ferme de cette localité. Pour la période d'hiver 1963, une teneur de 1,85 pci/litre a été relevée !

En prenant comme base de comparaison la valeur de 0,15 rencontrée dans les régions sédimentaires où n'existe pas de gisement d'uranium connu, on constate un facteur de 12 entre ces deux teneurs, ce qui est considérable.

b) Laites des localités de la Haute-Vienne :

Leur sous-sol est surtout constitué de granulite ; Bessines et Razes-sur-Gartempe sont à proximité immédiate des chantiers ; Saint-Sulpice-Laurière est plus loin. Pour les laits de ces premières communes, on obtient une teneur de 3 pci/litre, pour Saint-Sulpice-Laurière seulement 0,2 pci/litre. Afin de diminuer le risque d'erreur, ces chiffres sont la moyenne de deux mesures.

c) Lait de Kruth :

C'est dans cette région qu'existent des micaschistes uranifères ; on y relève une moyenne de 0,54 pci/litre.

d) Lait de la région du Forez :

La valeur moyenne est ici très élevée : 3,85 pci/litre.

e) Lait prélevé dans la région des gisements de Vendée :
Les mesures indiquent 0,8 pci/litre.

f) Laites de certaines localités sans gisements connus ou exploités.

Ces valeurs sont portées dans le tableau suivant :

<i>Localités</i>	<i>Roches constituanes du sous-sol</i>	<i>Départements</i>	<i>Teneur moyen. en pci/litre</i>
Guérande	Granulite	Loire-Atlantiq.	0,52
Aigrefeuille	Micaschiste et Gneiss	Loire-Atlantiq.	0,82
Légé	Granulite	Loire-Atlantiq.	0,2
Chatel Montagne	Granulite	Allier	0,68
Lesnevin	Granulite	Finistère	0,53
Pont-l'Abbé	Granulite	Finistère	0,85
Ploudiry	Granulite	Finistère	0,62
Ceaux	Oligocène	Haute-Loire	0,14
Cayres	Basalte myocène	Haute-Loire	0,43
Allegre	Basalte myocène	Haute-Loire	0,82
Ste-Anne-d'Auray	Granulite	Morbihan	0,46
Saugues	Granite	Haute-Loire	0,45
Vigeois	Micaschiste et Gneiss	Corrèze	0,2
St-Etienne-de- Montluc	Micaschiste et Gneiss	Loire-Atlantiq.	0,18
Besné	Granite	Loire-Atlantiq.	0,54
Gunsbach	Carbonifère infér.		0,16
Ribeauvillé	Micaschiste et Gneiss	Haut-Rhin	0,15
Andolsheim	Granite	Haut-Rhin	0,4
Questembert	Granulite	Morbihan	0,54
Locminé	Granite	Morbihan	0,15
Plabenec	Granite	Morbihan	0,38

Remarque : Toutes ces valeurs représentent une valeur moyenne du lait livré à la consommation par la localité, exception faite du lait de Saint-Symphorien-de-Marmagne, qui provient d'une seule ferme.

b) Discussion

Dans toutes les régions riches en minerais d'uranium, exploité ou non, le taux de radium 226 du lait est toujours plus élevé :

- Région de Kruth, 0,54 ;
- en Vendée, 0,85 ;
- à Saint-Symphorien-de-Marmagne, 1,85 ;
- Haute-Vienne, jusqu'à 3 ;
- en Forez, enfin, 3,85.

Les régions granitiques et granulitiques, où l'on trouve le plus souvent les minerais d'uranium, accusent toujours des teneurs comprises entre 0,4 et 0,8 pci/litre, à l'exception des échantillons de Locminé.

Les autres localités, toutes situées dans une des trois régions à formation hercynienne plus ou moins remaniée, accusent des teneurs variables mais en général supérieures à 0,15 pci/litre, valeur qui semble être représentative des laits des régions sédimentaires.

On peut affirmer que cet élément est en proportion très variable dans le lait de vache ; en effet, les valeurs extrêmes rencontrées sont :

- pour la limite inférieure, moins de 0,15 pci/litre ;
- pour la limite supérieure, 13,2 pci/litre.

En première approximation, les teneurs de l'ordre de 0,15 existent dans les territoires de formation récente. les taux de 0,4 à 0,8 sont l'apanage des régions primaires. De manière raisonnable, on peut penser que ces variations sont liées à l'eau de boisson et à l'alimentation des animaux, eaux et plantes transmettant le radium 226 à la vache qui, selon la quantité ingérée, verrait son lait plus ou moins riche en cet élément. Or, chez la femme, il semble que ce taux ne soit aucunement lié directement à la quantité de radium 226 ingérée.

* * *

Ceci soulève un important problème de physiologie comparée qu'il serait intéressant d'étudier sur ces bases. Pour certains auteurs, la teneur en radium semble très stable dans le lait de femme. Turner (49) illustre ce fait par l'observation suivante : Une femme allaitant son bébé avait l'habitude de consommer des noisettes (aliment très riche en radium 226 et 228) à tel point, dit-il, qu'un petit sac de ces friandises l'accompagnait partout. Or, il n'a jamais été remarqué dans le lait de cette femme un taux élevé de ces deux isotopes. Ce taux était relativement bas et semblable à ceux d'échantillons provenant d'une maternité. Une série de mesures effectuées sur le lait des femmes qui consommaient chacune 60 grammes de noisettes (équivalent de 150 pci de radium) ne révéla aucune augmentation de ce taux au cours des 72 heures suivant l'ingestion des noisettes. D'autres mesures suivirent, et toujours une teneur stable (0,10 pci/litre) fut constatée, même après l'ingestion de repas contenant jusqu'ici 220 pci de radium. Turner affirme que, pendant les 100 heures post-prandiales, il ne constata aucune modification, bien que, dit-il, « il nous aurait été possible de déceler des variations de l'ordre de 0,05 pci/litre ».

Ces repas contenaient une activité en radium vingt fois plus forte qu'un repas normal et, constatant que 0,1 pci/litre était l'activité rencontrée aussi bien chez la femme absorbant des noisettes depuis longtemps de façon continue que chez les autres sujets témoins, il conclut que, dans ce cas bien particulier d'excrétion du radium, une barrière semble exister.

Par contre, chez la vache nous avons relevé des activités de l'ordre de 0,15 pci/litre, et d'autres trente fois plus fortes. Existe-t-il, dans cette espèce, une barrière physiologique à mailles beaucoup plus larges ? Cette différence serait-elle en rapport avec la composition chimique du lait de femme qui contient quatre fois moins de calcium que le lait de vache (50) ? (Tableau page 36.)

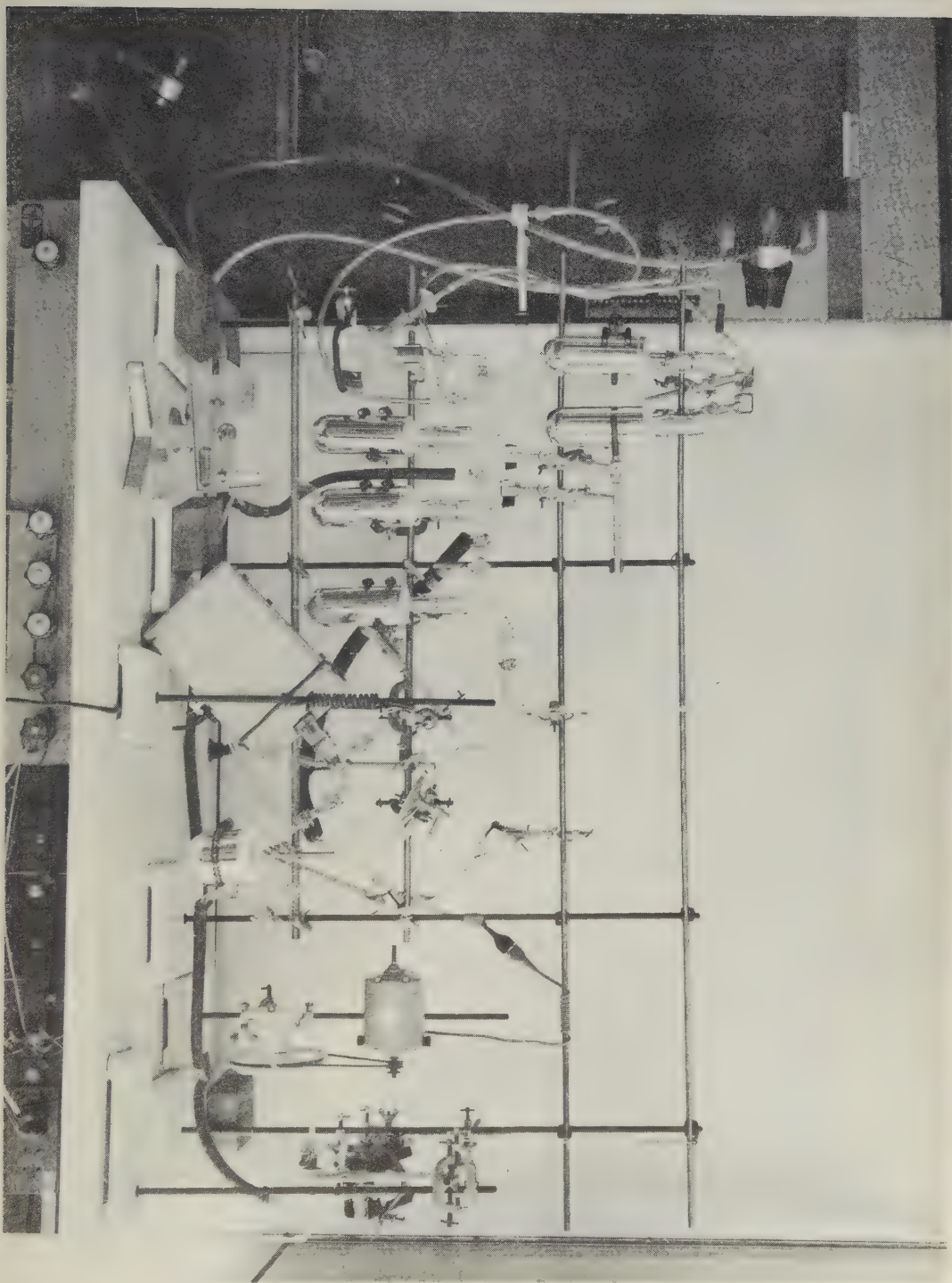
*
**

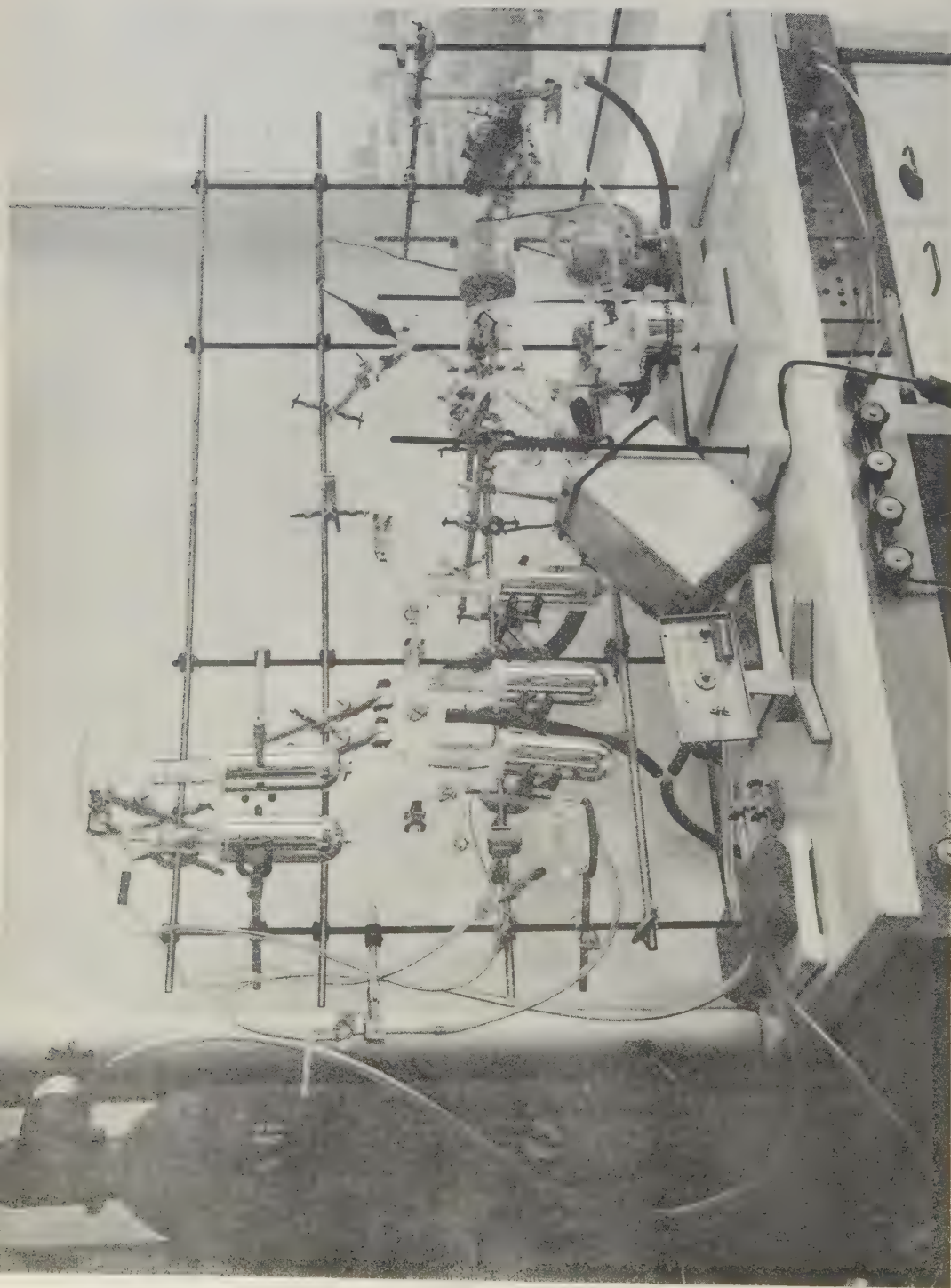
La barrière mammaire est peu connue, quant à son efficacité, chez la vache. La barrière intestinale est, au contraire, bien connue chez l'homme adulte, où l'on admet que seuls

		<i>Lait de femme</i>	<i>Lait de vache</i>
Valeur calorifique		76	68
Eau en grammes		87	87,5
Principes énergétiques	Protides	1,2	3,5
	Lipides	6,5	4,6
	Glucides	5	3,9
Eléments minéraux (en mg)	S.	12	34
	P	16	90
	Cl	40	100
	Na	6	40
	K	60	150
	Mn	4	11
	Ca	30	125
	Fe	0,2	0,1
	Zn	0,75	0,80
	Co	0,07	0,04
	Mg	0,03	0,03
	I	0,02	0,09
Vitamines (en mg)	C	2 à 6	0,5 à 5
	B1	0,02 à 0,015	0,04
	B2	0,04	0,15
	PP	0,2	0,2
	Acide panthoténique	0,2	0,3
	B6	0,01	0,07
	Caroténoïdes actifs	0,03	0,025 à 0,008
	A	0,02	0,03 à 0,01
	D	0,0001	0,0002
	E	0,7	0,1 à 0,07

20 p. 100 sont absorbés : les populations des régions riches en minerais d'uranium n'ont donc pas d'inquiétude à avoir. Michon (51) cite le chiffre de 37 pci/litre de lait comme niveau maximum admissible pour la consommation, pendant une vie entière (de 1 jour à 75 ans). En supposant que la quantité de radium 226 ingérée par jour est constante de la naissance à 75 ans, on peut calculer que l'ingestion journalière ne doit pas dépasser 17,5 pci/litre, si on admet que le lait constitue le seul vecteur du radium 226 et qu'il est consommé à raison de 0,5 litre par jour. En se plaçant dans les conditions les plus défavorables, avec des laits tout à fait exceptionnels de 10 pci/litre, on dispose encore d'un facteur 4 de sécurité.

Il serait peut-être bon de connaître exactement l'efficacité de la barrière intestinale chez le nourrisson vis-à-vis du radium et de ses isotopes car si, chez l'adulte, on admet une absorption de 2 p. 100 chez l'enfant, celle-ci peut atteindre 10 p. 100 (estimation faite chez le jeune de trois ans et demi). Ce serait donc pour le nourrisson que le problème du danger du lait de certaines régions pourrait exister. Une nouvelle voie de recherche est ouverte.





CONCLUSIONS

Ce travail a été consacré à l'exposé des techniques de dosage du radium 226 dans le lait de vache, et à la mise en évidence de variations de ce taux en fonction du sous-sol.

Les techniques sont en pleine évolution, gagnant en précision, sensibilité, spécificité, tant en France qu'à l'étranger.

Les résultats obtenus montrent que, contrairement à ce qui existe chez la femme, le lait de vache peut contenir des quantités de radium 226 importantes, avec des variations considérables. Ces dernières semblent étroitement liées à la richesse du sous-sol en minerais d'uranium.

L'ingestion de lait de production locale des régions très uranifères ne semble pas susciter de danger de radiocontamination interne. Même avec des laits titrant 10 pci/litre, la barrière intestinale est suffisamment efficace chez l'adulte. Mais, chez l'enfant, compte tenu d'une étude faite à l'âge de trois ans et demi, cette barrière, bien que moins efficace, le serait encore assez. Quant au nouveau-né, il n'existe aucun travail sur ce point. Les techniques perfectionnées permettront de mieux connaître le métabolisme du radium 226 chez l'homme et nos animaux.

Jointes aux connaissances acquises, les résultats obtenus montrent que les aspects radioactifs de l'hygiène ne permettent pas de mettre en doute la valeur du lait, aliment de base essentiel.

**Vu : LE PROFESSEUR RESPONSABLE
DE L'ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE,
FLACHAT.**

**Vu : LE DIRECTEUR
DE L'ECOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE,
FLORIO.**

**Vu :
LE DOYEN
DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE,
J.-F. CIER.**

**Vu :
LE PRÉSIDENT DE LA THÈSE,
CHAMBON.
PROFESSEUR
DE LA FACULTÉ DE MÉDECINE.**

***Vu et permis d'imprimer : Lyon, le 28 Mai 1964*
LE RECTEUR, PRÉSIDENT DU CONSEIL DE L'UNIVERSITÉ
P. LOUIS.**

BIBLIOGRAPHIE

- (1) PORCHER. — Revue générale des questions laitières. *Le Lait* 1921 ; n° 1, p. 9.
- (2) JEANMAIRE (L.) et MICHON (G.). — Recherches et dosages des isotopes radioactifs 89 et 90 du strontium dans le lait en poudre. *Le Lait*, 1959 ; 39, 369, 81.
- (3) JEANMAIRE (L.), FOURNIGUET (H.) et MICHON (G.). — Dosage du césium 137 dans le lait en poudre. *Le Lait*, 1959 ; 39, 593, 600.
- (4) AUDREN (M.-L.), BERTRAND (S.), JEANMAIRE (L.) et MICHON (G.). — Contrôle de la pollution radioactive du lait par l'iode 131. *Bulletin Académie Vétérinaire*, 1963 ; 36, 6, 287, 290.
- (5) Rapport du Comité Scientifique des Nations Unies pour l'Etude des radiations ionisantes. Assemblée générale. Documents officiels, dix-septième session. Supplément N° 16 (A/5216). Chapitre IV, p. 32.
- (6) *Circulaire Ministérielle, S.V.*, n° 736 ; 30 janvier 1959.
- (7) PASCAL (P.). — *Nouveau Traité de Chimie Minérale*, vol. IV ; p. 933. Masson, Paris.
- (8) (14) (16) JOLIOT-CURIE (Mme). — Les radioéléments naturels. 23, 58, 71, 76, 77, 90. Hermann, 1946 ; Paris.
- (9) Radiations Quantities and Units. International Commission on radiological units and mesuresents (I.C.R.U.). Report 10 A. 1962. Handbook 84. National Bureau of standards. p. 7 ; November 14, 1962.
- (10) (11) (21) (22) (32) (33) (34) (35) PASCAL (P.). — *Nouveau Traité de Chimie Minérale*, vol. IV ; 933, 934, 931, 939.
- (15) (12) GOVAERTS (J.). — Introduction à la chimie nucléaire. 30, 40 ; Dunod. Paris, 1961.
- (13) BAILLARD (Capitaine). — Cours de physique nucléaire ; 2° partie. Fascicule n° 1. Ecole Militaire de Spécialisation Atomique. Division technique. Annexe I, p. 1 à 15.
- (17) SIEVERT (J.). — Hultqwist, *Bull. Acta Radiologica*, 37, 3-4, 1952.

- (18) SIEVERT (R.-M.). — Hultqwist, *Brit. J. of Radiology*. Supplement 7, 1957.
- (20) SPIERS (F.-W.). — Radiation dose to bone from all sources. Paper presented at the conference of the bone and teeth, Soc. on radioactive materials and the skeleton ; 1960.
- (23) FEDTEROV (E.-K.) and BARANOV (V.-I.). — Content of natural radioactive substances in the atmosphere and in natural waters in the territory of the USSR. Academy of Science of the USSR, 27, 41 ; Moscow, 1956.
- (24) LEPAPE (A.). — Les données numériques actuelles sur la radio-activité des sources thermales en France. *Annales de l'Institut d'Hydrologie et de Climatologie*, t. II, n° 1, 1942 ; 44, 60.
- (25) (27) VERNADSKII. — Health and Safety Laboratory. USSR data on natural radioactivity. May I, 1962. United States, Atomic Energy Commission. New York, Operation Office ; 94, 102.
- (28) VOINAR (N.-V.). — The biological role of microelements in the animal and human organism. Publishing house « Soviet Science » ; 1953, 131, Moscow.
- (29) HILLY (G.). — *Nucleonics*, 1952, 10.
- (30) HURSH (J.-B.), GATES (A.-A.). — *Nucleonics*, 1950, 7, 1, 46.
- (31) MUTH (H.), SCHRAUB (A.), AURAND (K.) and HANTKE (H.-I.). — *Brit. Journal of Radiology*, supplement 7, 1957.
- (36) FABRE (R.). — *Toxiques minéraux*, 3^e partie ; 56, 31 ; Hermann. 1945, Paris.
- (57) OBERHAUSEN. — Fixation retention et élimination du radium-Diagnosis and treatment of radioactive poisoning. International Energy Agency. Vienna, 1963 ; 58, 68.
- (38) SHLUNDT. — Données sur la fixation, la rétention et l'élimination du radium par l'organisme humain. Diagnosis and treatment of radioactive poisoning. International Energy Agency. Vienna, 1963 ; 47.
- (39) (40) (49) TURNER (R.-C.). — Excrétion du radium en fonction de l'ingestion alimentaire. Diagnosis and treatment of radioactive poisoning. International Agency Energy. Vienna, 1963 ; 69, 92.
- (41) MUTH, RAJEWSKY, JHANTKE (H.) and AURAND (K.). — The normal radium content and the 226 Ra/Ca ratio of various foods, drinking water and different organs and tissues of the human body. Vol. 2, number 3 ; pp. 43, 2. Pergamon Press, February 1960.
- (42) JEANMAIRE (L.) et JAMMET (H.). — Analyses radiotoxicologiques urinaires. *Ann. Radiol.*, 1959, II (9, 10) : 703-722. Expansion.

- (43) MOSES (H.), STEHNEY (A.-F.) and LUCAS (J.-R.). — The effect of meteorological variables upon the vertical and temporal distribution of atmospheric radon. *Journal of Geophysical Research*. Vol. 65. April 1960, Number 4.
- (44) LUCAS (H.-F.). — Improved low-level alpha scintillation counter for radon. *The Revue of Scientific Instruments*. Vol. 28. September 1957, n° 9 ; pp. 680-683.
- (45) LUCAS (H.-F.) and KRAUSE (D.-P.). — Preliminary survey of Ra 226 and Ra 228 (Ms Th1) contents of drinking water. *Radiology*, 74, 114 ; 1960.
- (46) RUSHING (D.-E.). — The analysis of effluents and environmental samples from uranium mills and of biological samples for uranium, radium, and polonium.
Supplementary material for distribution at the Symposium on Radiological Health and Safety in Nuclear Materials Mining and Milling in Vienna, Austria, August 26,30, 1963.
U.S. Department of Health, Education, and Welfare Public Health Service. Bureau of State Services. Division of Water Supply and pollution Control. Colorado River Basin Water Quality Project Laboratory, Salt Lake City, Utah.
- (47) Statistiques Agricoles 1961. J.A. 208-389 ; publiées par le Ministère de l'Agriculture, Paris, pp. 316, 317, 318.
- (48) ROUBAULT (M.). — Géologie de l'Uranium et du Thorium. Actes de la Conférence Internationale sur l'utilisation de l'énergie atomique à des fins pacifiques. Vol. IV ; 171-181. Genève, 1956. Nations Unies.
- (50) Table de composition des Aliments. Institut Scientifique d'Hygiène Alimentaire. 52-53. Paris, 1960.
- (51) LICHON. — Contrôle des pollutions radioactives agricoles autour des installations minières d'intérêt nucléaire. Problème du lait. Radiological Health and Safety in Mining and Milling of nuclear Material. Vol. II.
International Atomic Energy Agency. Vienna 1964.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	9
CHAPITRE PREMIER. — Généralités sur le radium	13
1. Découverte, définition du curie	13
2. Le radium	13
3. L'émanation du radium 226 : Le Radon	16
4. Etat naturel	19
5. Métabolisme et toxicité	23
CHAPITRE II. — Techniques	27
1. Techniques de base	27
2. Autres techniques	35
CHAPITRE III. — Résultats - Discussion	47
a) Résultats	47
b) Discussion	53
CONCLUSIONS	57
BIBLIOGRAPHIE	59

